

FAKULTA PŘÍRODOVĚDNĚ-HUMANITNÍ A PEDAGOGICKÁ

Katedra: Katedra tělesné výchovy
Studijní program: Ekonomika a management
Studijní obor: Management sportovní

Možnosti zjišťování energetického výdeje organismu
pro potřeby laboratoře sportovní motriky TUL

Posibilites of diagnosing energy release of organism
for requirements of Laboratory of sports motorics TUL

Bakalářská práce: 2012–FP–KTV– 449

Autor:

Pavel Hájek

Podpis:

.....

Vedoucí práce:

Mgr. Václav Bittner

Počet

stran	grafů	obrázků	tabulek	pramenů	příloh
53	3	3	4	21	1

V Liberci dne: 27. 4. 2012

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta přírodovědně-humanitní a pedagogická
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel HÁJEK**
Osobní číslo: **P09000655**
Studijní program: **B6208 Ekonomika a management**
Studijní obor: **Management sportovní**
Název tématu: **Možnosti zjišťování energetického výdeje organismu pro
potřeby Laboratoře sportovní motoriky TUL**
Zadávající katedra: **Katedra tělesné výchovy**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

- Analyzovat současné postupy při stanovení energetického výdeje organismu.
 - Navrhnout vhodný postup zjišťování energetického výdeje organismu pro potřeby Laboratoře sportovní motoriky.
 - Ověřit navržené řešení na vybraném souboru jedinců.
-

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- DOVALIL, Josef. Výkon a trénink ve sportu. Praha : Olympie, 2009. 331 s. ISBN 978-80-7376-130-1
- DYLEVSKÝ, Ivan. Pohybový systém a zátěž. Praha : Grada Publishing, 1997. 260 s. ISBN 80-7169-258-1
- HAVLÍČKOVÁ, Ladislava. Fyziologie tělesné zátěže 1 - Obecná část. Praha : Karolinum, 2004. 180 s. ISBN 978-80-7376-130-1
- PLACHETA, Zdeněk; SIEGELOVÁ, Jarmila; ŠTEJFA, Miloš. Zátěžová diagnostika v ambulantní a klinické praxi. Praha : Grada, 1999. 268 s. ISBN 80-7169-271-9
- RYDLO, Martin. Fyziologie a patofyziologie tělesné zátěže. Ostrava : Ostravská univerzita, 1995. 195 s. ISBN 80-7042-093-6

Vedoucí bakalářské práce:

Mgr. Václav Bittner
Katedra tělesné výchovy

Datum zadání bakalářské práce: 29. dubna 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 29. dubna 2012



doc. RNDr. Miroslav Brzezina, CSc.
děkan

L.S.



PaedDr. Jindřich Martinec
vedoucí katedry

V Liberci dne 3. května 2011

Čestné prohlášení

Název práce: Možnosti zjišťování energetického výdeje organismu
pro potřeby laboratoře sportovní motriky TUL

Jméno a příjmení autora: Pavel Hájek

Osobní číslo: P09000655

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména § 60 – školní dílo.

Prohlašuji, že má bakalářská práce je ve smyslu autorského zákona výhradně mým autorským dílem.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Prohlašuji, že jsem do informačního systému STAG vložil/ elektronickou verzi mé bakalářské práce, která je identická s tištěnou verzí předkládanou k obhajobě a uvedl jsem všechny systémem požadované informace pravdivě.

V Liberci dne: 27. 4. 2012

.....

Pavel Hájek

Poděkování

Rád bych poděkoval Mgr. Václavu Bittnerovi za trpělivé vedení bakalářské práce a za podnětné konzultace. Dále chci poděkovat všem, kteří mě při tvoření této práce podporovali.

Anotace

Cílem bakalářské práce bylo stanovení optimálního způsobu určování energetického výdeje pro potřeby Laboratoře sportovní motoriky Technické univerzity v Liberci. Celkový denní energetický výdej byl rozdělen do několika časových úseků podle stupně intenzity pohybové aktivity sledovaného subjektu. V závislosti na míře intenzity zatížení pak byla zvolena vhodná metoda pro stanovení energetického výdeje v daném časovém intervalu. Využíváme metodu násobku bazálního metabolismu pro spánek a dále metodu nepřímé kalorimetrie založené na určení celkové spotřeby kyslíku. Ta je určena z odhadované průměrné nebo změřené okamžité srdeční frekvence. Nová metodika byla pilotně ověřena na jednom testovacím subjektu a výsledky byly porovnány s dotazníkovou metodou, která je v současnosti nejrozšířenějším způsobem odhadování energetického výdeje. Byly prokázány značné rozdíly, především pro aktivity o vyšší intenzitě, při kterých dotazníková metoda silně podhodnocuje energetický výdej. V případě verifikace popsané metodiky dalším výzkumem najde práce uplatnění v nutričním a kondičním poradenství zejména aktivních sportovců.

Klíčová slova:

Energetický výdej, srdeční frekvence, minutová spotřeba kyslíku, nepřímá kalorimetrie, bazální metabolismus

Annotation

The aim of the thesis was to determine the optimal way of diagnosing energy release of organism for requirements of Laboratory of sports motorics of Technical University of Liberec. The all-day energy release was divided into several sections according to the degree of intensity of moving activity of the observed object. The suitable method for diagnosing energy release of the section was chosen with dependence on intensity of strain. We use a method of multiple of basal metabolism for sleep and then method of indirect ?calorimetry? based on determination of total oxygen consumption. The consumption is found out from a heart frequency average estimated or measured immediately. The new methodology was initially verified with using one subject and the results were compared to a questionnaire method which is currently the most widespread way of estimation the energy release. Huge differences were proved, especially for activities done with higher intensity. The questionnaire method strongly underestimates energy release. What concerns verification of the methodology described the thesis can be used for nutritive and fitness consultancy especially of active sportsmen.

Keywords:

Energy expenditure, heart rate, minute oxygen consumption, indirect calorimetry, basal metabolism

Obsah

Úvod	13
1. Cíle.....	14
2. Metabolismus	15
2.1 Bazální metabolismus (BMR).....	16
2.1.1 Měření a výpočet bazálního metabolismu.....	16
2.1.2 Faktory ovlivňující bazální metabolismus	18
2.2 Spotřeba energie vlivem svalové práce	19
2.2.1 Systém ATP – CP	20
2.2.2 Laktátový systém	21
2.2.3 Aerobní systém	21
2.3 Další faktory ovlivňující energetický výdej	22
3. Dostupné metody stanovení energetického výdeje	24
3.1 Metody založené na kalorimetrii.....	24
3.1.1 Přímá kalorimetrie	24
3.1.2 Nepřímá kalorimetrie	25
3.2 Metody založené na sledování srdeční frekvence.....	27
3.2.1 Měření energetického výdeje měřením srdeční frekvence minutu po minutě.....	27
3.2.2 Metoda měření celkového energetického výdeje a stupně fyzické aktivity ze srdeční frekvence	28
3.2.3 Určení energetického výdeje pomocí komerčního software monitorů srdeční frekvence..	30
3.3 Metody založené na jiném principu	31
3.3.1 Měření celkového denního energetického výdeje pomocí metody dvojteř značené vody...	31
3.3.2 Dotazníková metoda zjiřování energetického výdeje.....	31
3.3.3 Měření energetického výdeje pomocí krokoměru.....	33
4. Stanovení metodiky odhadu celodenního energetického výdeje jednotlivce...	34
4.1 Komparace a výběr optimálních metod.....	34
4.2 Navržená metodika	35
4.2.1 Informace o klientovi	35
4.2.2 Popis zvolené metodiky pro Laboratoř sportovní motoriky TUL	35
4.3 Experimentální ověření navržené metodiky.....	38

4.3.1	Metody	38
4.3.2	Výsledky hodnocení enrgetického výdeje.....	40
4.3.3	Diskuze	46
4.3.4	Časová a finanční náročnost vyšetření	47
5.	Závěr	49
	Seznam použité literatury	51
	Přílohy	53

Seznam použitých symbolů a zkratk

TUL	Technická univerzita v Liberci
ATP	Adenozintrifosfát
ADP	Adenozindifosfát
BMR	Bazální metabolismus
RMR	Klidový metabolismus
CP	Kreatinfosfát
RQ	Respirační koeficient
SF	Srdeční frekvence
SEE	Klidový energetický výdej
FLEX SF	Bod zvratu v měření výdeje energie pomocí srdeční frekvence
TEE	Celkový denní energetický výdej
PAL	Stupeň fyzické aktivity
PAR	Poměr fyzické aktivity
EV	Energetický výdej

Úvod

Energetický výdej a energetický příjem tvoří základní rovnici pro veškerou práci s tělesnou hmotností. Strana energetického příjmu je v současnosti velice přesně zmapovaná, na každé potravíně jsou k nalezení informace o nutričních hodnotách výrobku, pomocí kterých si každý člověk může lehce vypočítat, kolik energie přijal. Na internetu existují webové kalkulačky, které dokáží vypočítat přesně, kolik energie člověk za daný časový úsek přijal.

Strana energetického výdeje oproti tomu je zmapována nedostatečně, ačkoliv je stejně důležitá jako energetický příjem. Pro výpočet se obvykle volí nepřesný výpočet pomocí vzorce nebo tabulkové metody, které vychází z věku, hmotnosti a pohlaví jedince.

Údaj o energetickém výdeji je pro sportovce velice důležitý, avšak běžně používané metody výpočtu se u něj nedají použít, protože sportovec má metabolismus odlišný od běžné populace díky adaptačním změnám organismu na fyzickou zátěž.

Znalost svého denního energetického výdeje nehraje roli pouze v životě sportovce, ale je důležitý i pro běžnou populaci. V dnešní době, kdy se z obezity stal globální problém, který dále způsobuje mnoho dalších civilizačních onemocnění, proto je důležité vzdělání v oblasti výživy pro každého člověka.

Cílem této práce je zhodnotit a porovnat jednotlivé metody zjišťování energetického výdeje a nalézt optimální metodu nebo kombinaci metod pro účely laboratoře sportovní motoriky TUL, takovou, která bude splňovat požadavky na přesnost a zároveň bude materiálně dostupná.

1. Cíle

Hlavní cíl

Analyzovat současné možnosti zjišťování energetického výdeje a navrhnout optimální metodu pro potřeby Laboratoře sportovní motoriky TUL.

Dílčí cíle

1. Shromáždit teoretické informace o látkovém metabolismu člověka metabolismu.
2. Shromáždit teoretické informace o metodách měření energetického výdeje.
3. Provést komparaci dostupných metod energetického výdeje.
4. Stanovit vhodný způsob zjišťování energetického výdeje organismu pro potřeby Laboratoře sportovní motoriky.
5. Ověřit navržené řešení na vybraném souboru jedinců.

2. Metabolismus

Metabolismus v těle člověka představuje souhrn všech chemických reakcí, které v něm probíhají. Látková výměna je nutná podmínka existence, tímto procesem získává organismus substráty pro výstavbu a obnovu. Látkovou výměnou organismus dále vytváří energii, kterou si nedokáže sám vyrobit, tu získává z požitých potravin. Tato energie se pak převádí na různé formy. Obecně lze říci, že metabolismus představuje koloběh energie v těle, kterou musíme přijmout v podobě potravy a která jevydávána téměř při každém procesu v organismu. (Mourek, 2005)

Přijatá potrava prochází trávicím traktem, kde je mechanicky a chemicky zpracovávána tak, aby byly vstřebány všechny významné komponenty. Finální zpracování substrátu, které se uskutečňuje na buněčné úrovni, probíhá aerobním procesem, tzv. aerobiózou. Ta probíhá tak, že energeticky bohatý substrát je postupně zbavován vodíku, který se následně spojuje s kyslíkem a vzniká voda. Taktéž uhlík substrátu je vázán na kyslík a jako oxid uhličitý je vylučován plicemi. Část energie se uvolňuje v podobě tepla, zbylá část se přeměňuje na biologicky použitelnou energii ve formě makroergních fosfátových vazeb. Nejdůležitějším představitelem je adenzin trifosfát (ATP). Adenzin trifosfát se získává postupným rozkladem molekul glukózy (tzv. glykolýza). Tato práce se však zaměřuje především na energetický výdej a proto se již příjmem nebude zabývat. (Mourek, 2005)

Metabolické procesy dělíme podle směru enzymatické reakce, které slouží k tvorbě nebo rozkladu látek, na anabolismus a katabolismus, které v těle současně probíhají v různých intenzitách. Katabolismus je charakterizován rozkladem látek za účelem zisku energie, převažuje především při zvýšené fyzické aktivitě, kdy vegetativnímu nervovému systému dominuje sympatikus, přičemž chybí rezervy glykogenu a jsou mobilizovány jiné zdroje energie – tuky a bílkoviny. Anabolismus je proces, při kterém dochází k výstavbě složitějších látek z jednodušších. Příjem energie je vyšší než okamžitá spotřeba, a proto dochází k tvorbě zásob. K anabolickým procesům dochází při převaze parasympatiku. (is.muni.cz, 2006 - 2012)

Na celkovém denním energetickém výdeji člověka se podílejí 3 složky výdeje, jedná se o bazální metabolismus, energii potřebnou ke svalové práci a termický efekt přijaté potravy, což představuje množství energie potřebné k rozštěpení potravy. U běžné populace je poměr zastoupení těchto složek přibližně 60 % bazální metabolismus, 10 % termický efekt potravy, 30 % energie na svalovou práci a termogenezi. V těle sportovce však tento poměr klesá, díky adaptacím na pohybovou aktivitu se bazální metabolismus snižuje a hlavní část denního výdeje, zejména u vytrvalostních sportů, tvoří výdej energie na pohybovou aktivitu. (Ronnie.cz, 2001 - 2012)

2.1 Bazální metabolismus (BMR)

Bazální metabolismus představuje velikost energie potřebnou k udržení základních životních funkcí, pokrývá tedy energetickou potřebu základních životních orgánů, jako jsou plíce, srdce, mozek a dalších.

Jeho velikost zásadně ovlivňuje celkový denní energetický výdej, na kterém se podílí z 55 % až 75 %. Záleží především na fyzické aktivitě člověka. Velikost bazálního metabolismu u zdravé nesportující populace činí přibližně 6 000 kJ. Jeho velikost je nejvíce závislá na pohlaví, věku a výšce člověka. (Trojan, Langmeier, 2003)

Velice často dochází k záměně klidového metabolismu s bazálním. Klidový metabolismus (RMR) představuje hodnotu energetického výdeje při duševním i fyzickém klidu, například ve spánku. Jeho hodnota je přibližně o 10% vyšší než bazální metabolismus. Měření se obvykle provádí pomocí nepřímé kalorimetrie. (Trojan, Langmeier, 2003)

2.1.1 Měření a výpočet bazálního metabolismu

Měření se provádí pro účely výživového poradenství, a to především pomocí nepřímé kalorimetrie za standardních podmínek. Testovaný subjekt nesmí 12 hodin před vyšetřením jíst a 48 hodin před vyšetřením být na bezbílkovinné dietě, musí se nacházet

v naprostém fyzickém a psychickém klidu v místnosti o teplotě 20°C. (Kohliková, 2007)

Pro výpočet se používají vzorce, které zohledňují výšku, váhu a věk. Tyto vzorce poskytují poměrně přesné informace při užití na běžné populaci. Při použití vzorců na sportovcích dochází k významným chybám.

Výpočet pomocí Faustova vzorce

$$\text{muži: BMR (kcal)} = \text{hmotnost (v kg)} \times 24 \quad (1) \text{ (Chromec, 2011)}$$

$$\text{ženy: BMR (kcal)} = \text{hmotnost (v kg)} \times 23 \quad (2) \text{ (Chromec, 2011)}$$

Tento vzorec je velice nepřesný a slouží pouze k orientačnímu odhadu.

Výpočet pomocí Harris-Benedictovy rovnice

$$\text{muži: BMR [kcal]} = 66,5 + 13,8 \times \text{hmotnost} + 5,0 \times \text{výška} - 6,8 \times \text{věk} \quad (3)$$

$$\text{ženy: BMR [kcal]} = 655 + 9,6 \times \text{hmotnost} + 1,8 \times \text{výška} - 4,7 \times \text{věk} \quad (4)$$

(Chromec, 2011)

Při použití tohoto vzorce na běžné populaci lze získat věrohodné informace, nerespektuje však řadu dalších faktorů ovlivňující bazální metabolismus, proto je nevhodný k použití na sportovcích nebo na obezních lidech.

Dále existuje mnoho dalších rovnic, které se snaží o přesný odhad bazálního metabolismu. Přesnější rovnice jsou ty, ve kterých je zahrnuto i tělesné složení těla, avšak tyto výpočty si již žádají měření v laboratořích. Přesností jednotlivých rovnic se zabýval ve své bakalářské práci pan Jiří Chromec: Klidový metabolismus, který zjistil velké rozdíly mezi výpočtem výsledků bez přístrojů a s nimi. Měření však prováděl pouze na jedné osobě, a proto z práce nelze vyvozovat žádné obecné zásady. (Chromec, 2011)

2.1.2 Faktory ovlivňující bazální metabolismus

Hodnoty vypočítané pouze z údajů o výšce, hmotnosti, pohlaví a věku jsou jenom průměrnou hodnotou, na bazální výdej energie má vliv mnoho dalších faktorů.

Velkou roli hraje povrch těla, čím je větší, tím jsou tepelné ztráty významnější, a proto organismus musí více pracovat na doplnění ztraceného tepla a udržení stálé teploty. Bazální metabolismus je řízen hormony štítné žlázy, tyroxinem a trijodtyroninem. Pokud štítná žláza produkuje příliš mnoho těchto hormonů, bazální metabolismus se zvyšuje. Naopak při nedostatečné funkci štítné žlázy dochází k poklesu bazálního metabolismu. Jeho velikost dále ovlivňuje pohlaví. Muži mají o 5-10% vyšší bazální metabolismus než ženy. Je to dáno tím, že muži mají více aktivní tělesné hmoty oproti ženám. Tím se dostáváme k dalšímu faktoru, a to je množství aktivní tělesné hmoty. Sportovec, který oplývá větším množstvím svalové hmoty, má vyšší bazální metabolismus oproti běžné populaci. Dalším faktorem je věk. V dětství je bazální metabolismus nejvyšší, a postupem času neustále klesá, proto je vhodné přizpůsobit stravu svému věku. (Ronnie.cz, 2001 - 2012)

Další faktory významně ovlivňující velikost bazálního metabolismu je dědičnost, rasa (například Číňané a Indové mají nižší BMR než lidé kavkazoidní (Evropané), nemalý vliv má také současný psychický stav, stres a deprese bazální metabolismus zvyšují. V neposlední řadě jeho velikost ovlivňuje tělesná teplota, pokud se zvýší teplota těla o 1°C, pak se velikost bazálního metabolismu zvýší o 14%. Úroveň bazálního metabolismu se též mění v období regenerace, v prvních 13 hodinách po výkonu se zvyšuje BMR až o 23%, v dalších 10 hodinách o 10%. Klimatické vlivy též ovlivňují bazální výdej energie. Ve studeném prostředí se výdej energie na udržení životních funkcí zvyšuje až trojnásobně, v teple naopak klesá. V tropickém prostředí bazální metabolismus roste v porovnání s běžným prostředím o 5 – 20%. (Ronnie.cz, 2001 - 2012)

Ze souhrnu faktorů ovlivňujících velikost bazálního metabolismu, který tvoří velkou část denního energetického výdeje, vyplývá, že výpočtové metody nerespektují mnoho faktorů, které mají významný vliv na velikost bazálního výdeje, zvláště u sportovců,

kterí díky adaptačním změnám na fyzickou aktivitu mívají bazální metabolismus vyšší. Touto problematikou se zabývala Bc. Eva Sedláčková v diplomové práci: „Porovnání klidového metabolismu sportující a nesportující populace“. Ve své práci vychází z předpokladu, že sportující populace má vyšší klidový metabolismus než populace nesportující. Toto tvrzení se však nepodařilo prokázat, jako důvod autorka udává příliš malý vzorek populace. V práci se však podařilo prokázat, že predikované hodnoty klidového metabolismu jsou výrazně nižší než hodnoty naměřené. (Sedláčková, 2011)

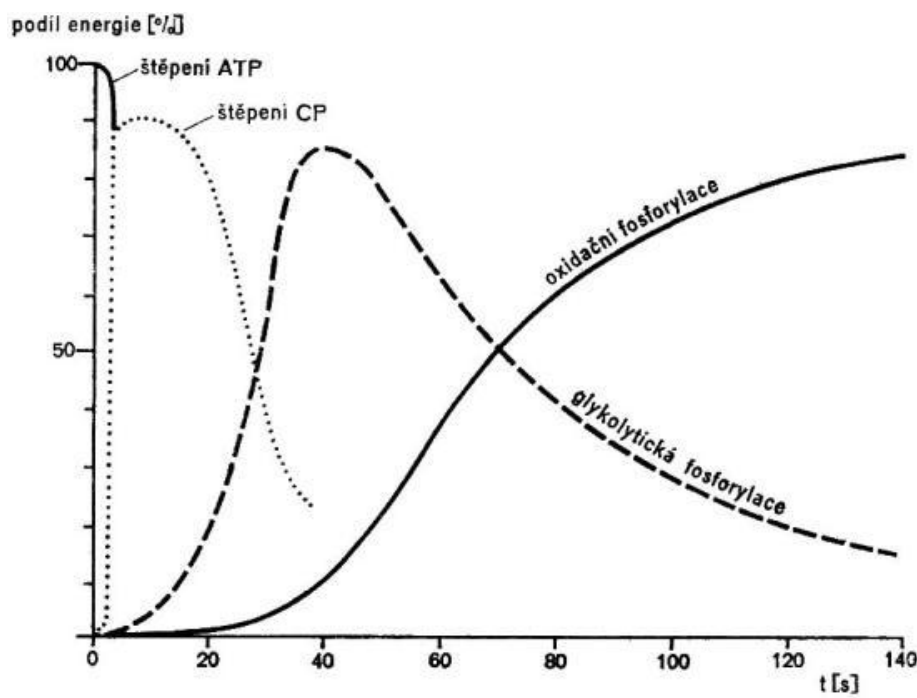
2.2 Spotřeba energie vlivem svalové práce

Výdej energie na svalovou práci představuje velké procento celkového denního výdeje, u sportovců bývá většinou složkou energetické potřeby. Jako zdroje energie využívá organismus glycidy, lipidy a proteiny. Pro získání energie se tyto živiny štěpí v produkty intermediárního metabolismu.

Obecně rozlišujeme tři druhy energetického krytí v organismu. Jedná se o ATP – CP systém, laktátový systém a aerobní systém viz tabulka 1 a obrázek 1.

Tabulka 1: Způsoby krytí energie.
Zdroj: Peříč, 2010

Systém	Způsob štěpení	Zdroj energie
ATP – CP systém	Anaerobně	CP (kreatinfosfát)
Laktátový systém	Anaerobně	Glykogen
Aerobní systém	Aerobně	Glykogen, tuky

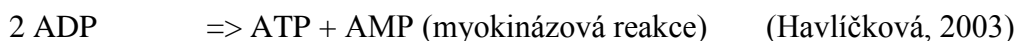


Obrázek 1: Schéma časového uplatnění energetických zdrojů na začátku zátěže.
Zdroj: Zdravotnictvi.studentske.cz, 2005

2.2.1 Systém ATP – CP

Tento systém využívá organismus při krátkodobých a intenzivních zátěžích jako jsou například sprinty. ATP – CP systém lze provádět krátkodobě bez přístupu kyslíku. Prvních několik vteřin zátěže se energie čerpá ze zásob ATP uložených ve svalích. Pokud jsou tyto zásoby vyčerpány, vzniká nový ATP syntézou ADP (adenozindifosfát) a CP (kreatinfosfát), který je uložený ve svalu. Nová molekula ATP vzniká spojením ADP s molekulou organického fosforu, která se uvolní z kreatinfosfátu. Při tomto způsobu energetického krytí nevzniká laktát a je hlavním zdrojem energie prvních 5 – 6 vteřin zátěže. (Dovalil, 2009)

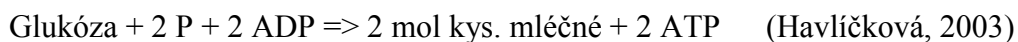
Zmíněné biochemické reakce jsou v následujícím tvaru:



2.2.2 Laktátový systém

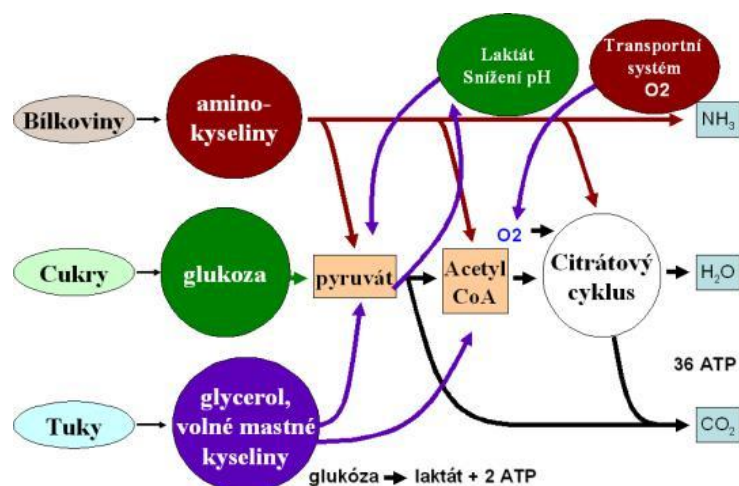
Chvíli po ATP – CP se rozjíždí systém anaerobního štěpení glukózy, který se přibližně po šesti vteřinách podílí stejnou měrou na energetickém krytí jako ATP – CP systém. Organismus rozkládá glukózu nejprve na pyruvát (anion kyseliny pyrohroznové) a ten je následně rozložen bez přístupu kyslíku na laktát a ionty vodíku. Zásobní formu glukózy tvoří v organismu glykogen, který je uložen ve svalech a játrech. Množství svalového glykogenu je asi 250g a při zátěži vydrží přibližně na 90 minut nepřerušované svalové práce. V játrech je uloženo dalších přibližně 100g glykogenu. Množství zásobního glykogenu lze navýšit sportovním tréninkem, sportovci mohou mít až 800g zásobního glykogenu. Při anaerobním štěpení glukózy vzniká laktát, který se hromadí ve svalu a následně je vyplavován do krve. Zvýšená hladina laktátu ve svalu způsobuje pokles pH. Kyselé prostředí dráždí nervová zakončení a způsobuje tzv. „pálení“ svalů. (Novotná, 2007)

Vhodným tréninkem lze zvýšit odolnost organismu vůči zakyselení. Podle hladiny laktátu v krvi při zátěži se posuzuje anaerobní kapacita organismu. Chemická reakce anaerobní glykolýzy má tvar:



2.2.3 Aerobní systém

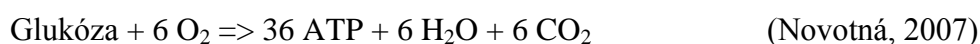
Při zátěži trávající déle než 60 – 70 vteřin se stává hlavním způsobem energetického krytí aerobní systém, to znamená štěpení za přítomnosti kyslíku. Glukóza je nejprve rozložena na pyruvát v cytoplazmě svalové buňky, který se dále v mitochondriích rozkládá v tzv. Krebsově cyklu viz obrázek 2. (Dylevský, 1997)



Obrázek 2: Krebsův cyklus.

Zdroj: is.muni.cz, 2006

Oxidativní fosforylací vzniká CO₂, H₂O a energie. Jako zdroj energie slouží glykogen a tuky. Fosforylace tuků není tak ekonomická a má vyšší požadavky na přísun kyslíku, ale díky zásobám tuku je to téměř nevyčerpatelný zdroj energie. Biochemická reakce probíhá následovně:



2.3 Další faktory ovlivňující energetický výdej

Mezi další faktory patří termogeneze. Energetický výdej na udržování stálé tělesné teploty u průměrného muže zaujímá velikost 15 – 30 % z celkového tělesného energetického výdeje.

Z 5 – 10% ovlivňuje energetický výdej termický efekt potravy. Přijatá potrava se v těle rozkládá na své základní složky, jako jsou například jednoduché cukry a aminokyseliny. K rozložení živin je však zapotřebí energie, u bílkovin je tento proces nejnáročnější, až 33 % jejich energetické hodnoty je třeba k rozštěpení bílkoviny na aminokyseliny. Nejjednodušší je tento proces u tuků. Při vyvážené stravě se odhaduje, že tělo vydá zhruba 10 % přijaté energie na zpracování a využití potravy. (Anabell.cz, 2002 - 2012)

Za zmínku stojí ještě pozátěžová termogeneze. Jak již bylo zmíněno v kapitole o faktorech ovlivňující BMR, zvednutí teploty o 1°C vyvolává zvýšení bazálního metabolismu o 14 %. Po tréninku ještě několik hodin zůstává zvýšená teplota organismu, a proto dochází i k vyššímu energetickému výdeji, u průměrného muže toto zvýšení tvoří zhruba 5 % celkového energetického výdeje. (Ronnie.cz, 2001 - 2012)

3. Dostupné metody stanovení energetického výdeje

Základem výživového poradenství je zkoumání energetického příjmu a výdeje. Příjem je v současnosti velice přesně popsán, na rozdíl od výdeje, který je obtížně měřitelný. Vědci se proto snaží vyvíjet metody, jak energetický výdej zjistit. Nejpresnějším způsobem je přímá kalorimetrie, která měří vdechované a vydechované plyny, a navíc teplo, které tělo vydá. Tento způsob však vyžaduje dobře vybavenou laboratoř a vyšetření je velice nákladné a v terénu nepoužitelné. Proto je v současnosti snaha o vyvinutí metody, která bude dostatečně přesná, ale zároveň levná. Optimální pro měření výdeje energie při zátěži je nepřímá kalorimetrie, která vychází z přímé kalorimetrie. Avšak objevují se i metody, které se snaží odhadnout energetickou potřebu, například na základě měření srdeční frekvence.

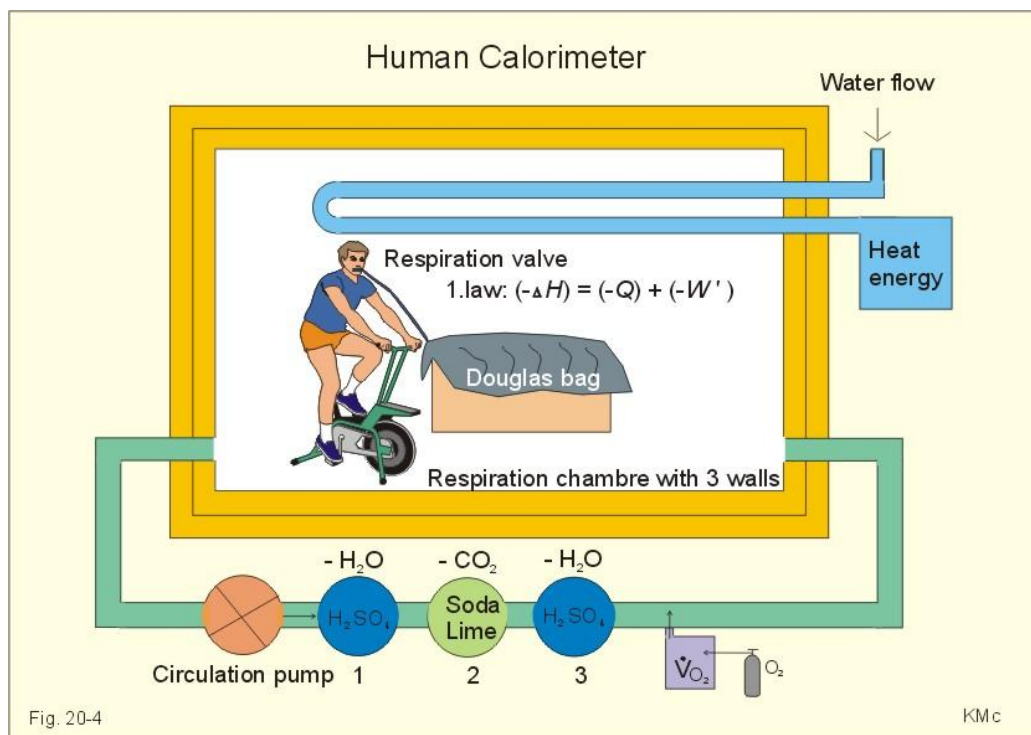
Znamé metody můžeme rozdělit podle způsobu výpočtu energetického výdeje, a to na metody využívající vztahu závislosti uvolnění energie na 1 litr kyslíku, dále pak metody využívající srdeční frekvenci a na ostatní, založené na jiném principu.

3.1 Metody založené na kalorimetrii

3.1.1 Přímá kalorimetrie

Při fyziologických procesech probíhajících v lidském těle se uvolňuje teplo. Bez uvolňování tohoto tepla by se tělo zahřívalo na obrovskou teplotu, proto se tělo ochlazuje pomocí kůže, která propouští většinu tepla do okolí. (Rydlo, 1995)

Metoda přímé kalorimetrie měří toto teplo a spotřebu kyslíku viz. obrázek 3. Na základě těchto měření vyhodnocuje energetický výdej. Jedná se o nejpresnější, avšak zároveň velice nákladné vyšetření. Měření probíhá v uzavřené místnosti, kde je neutrální teplota 20 - 22°C. Člověk v této místnosti vyzařuje teplo, které ohřívá vzduch v místnosti. Vzduch následně ohřívá vodu, jejíž teplota je měřena velice přesnými teploměry. Tato metoda je díky své náročnosti používána pouze experimentálně. (Sedláčková, 2011)



Obrázek 3: Princip přímé kalorimetrie.
Zdroj: Zuniv.net, 2007

3.1.2 Nepřímá kalorimetrie

Nepřímá kalorimetrie je v podstatě trochu zjednodušená přímá kalorimetrie. Jedná se o objektivní a neinvazivní metodu zjišťování energetického výdeje jakéhokoliv člověka, pacienta či sportovce. Sledované procesy jsou změny v koncentraci O_2 mezi vdechovanými a vydechovanými plyny, dále je to pak vydechovaný CO_2 . Při tomto vyšetření lze kromě energetického výdeje zjistit i živiny (tuky, sacharidy, bílkoviny), které se podílí na krytí aktuální energetické potřeby. Toto vyhodnocování probíhá pomocí respiračního koeficientu (RQ). RQ udává poměr mezi tělem vydaným CO_2 a spotřebovaným O_2 . RQ se mění za různých podmínek. Například při hyperventilaci stoupá, jelikož je vydechován ve zvýšeném množství i CO_2 . Při fyzické námaze RQ stoupá v závislosti na kyselině mléčné, která vzniká při pohybové aktivitě a následně se mění na CO_2 , který je nakonec vydechován. Při acidóze RQ stoupá a při alkalóze naopak klesá. Při smíšené stravě se udává RQ 0,82. Při spalování výhradně sacharidů je RQ 1, tuků 0,7 a bílkovin 0,84. Při velice náročné fyzické námaze do vyčerpání je RQ

vyšší než 1, což je způsobeno právě kyselinou mléčnou. (Placheta, Siegelová, Štejfa, 1999)

Při výpočtu energetického výdeje nepřímou kalorimetrií se vychází ze znalosti, že každá organická látka, kterou přijímáme v potravě, má svojí energetickou hodnotu a také odlišný poměr množství spotřebovaného kyslíku k uvolnění energie. Energetický ekvivalent představuje množství energie, která se z jednotlivých živin uvolní při spotřebě 1 litru kyslíku. U sacharidů je tato hodnota 21,1 kJ, u tuků 19,0 kJ a u bílkovin 18,8 kJ. U bílkovin je energetický ekvivalent nižší, protože bílkoviny obsahují ve své molekule dusík, který je též nositelem určitého množství energie, avšak dusík se z těla odplavuje močovinou, proto je třeba odečíst od energetického potenciálu množství energie připadající na nevyhnutelný odpad. Nejlépe se energie uvolňuje ze sacharidů a nejobtížněji z proteinu. (Materase, 1997)

Celkový odhad uvolněné energie při spotřebě 1 litru kyslíku, za předpokladu smíšené stravy, kterou tvoří z 50 - 60 % sacharidy, 15 – 20 % bílkoviny a zbylých 20 % tuky, tedy činí 20,1 kJ. Z této informace vycházíme při výpočtu energetického výdeje při nepřímé kalorimetrii, kde sledujeme množství vdechovaného kyslíku. (Materase, 1997)

Z výše popsaného vztahu je odvozen jednoduchý vzorec pro výpočet energetického výdeje:

$$E [kJ] = VO_2[l] \cdot 20,1 \quad (5)$$

kde E je uvolněná energie, VO_2 je objem spotřebovaného kyslíku a 20,1 je energetický koeficient.

Energie uvolňována anaerobně není do výpočtu zahrnuta, tento způsob energetického krytí se však využívá pouze několik desítek vteřin po začátku fyzické aktivity, a proto nezpůsobuje velkou chybu měření.

U nepřímé kalorimetrie se používají dva systémy, otevřený a uzavřený. U otevřeného systému testovaný subjekt vdechuje atmosférický vzduch a do analyzátorů vzduch

vydechuje. Úbytek O_2 , který si organismus ponechává, se měří a podle úbytku se vypočítává velikost energetického výdeje. Tento systém je v současnosti nejpoužívanější. V uzavřeném systému je měřená osoba zcela izolována od okolního prostředí. Vdechuje kyslík z rezervoáru a oxid uhličitý opět vydechuje do uzavřeného systému.

Použití nepřímé kalorimetrie k zjištění celodenního energetického výdeje je však nevhodné. V současné době sice již existují přenosné přístroje velikosti fěnu na vlasy jako je například MedGem, kterým získáme velice přesné informace, avšak dýchání celý den s takovým přístrojem při běžném životě by bylo velice nepraktické. Proto je nyní vyvíjeno úsilí na navržení takové metody, kterou lze dostatečně přesně odhadovat EV a která by zároveň neomezovala život testované osoby. Využít k tomu lze například těsnou závislost mezi srdeční frekvencí a spotřebou kyslíku.

3.2 Metody založené na sledování srdeční frekvence

3.2.1 Měření energetického výdeje měřením srdeční frekvence minutu po minutě

Možností zjišťovat celodenní energetický výdej pomocí měření srdeční frekvence se zabývali autoři Ekelund, U., Sjöström, M., Yngve, A., Nilsson, A.: Total daily energy expenditure and pattern of physical activity measured by minute-by-minute heart rate monitoring in 14 – 15 year old Swedish adolescents. Autoři této studie si dali za cíl zjistit energetický výdej pomocí záznamu o srdeční činnosti v průběhu celého dne, kterou zaznamenávali každou minutu. Za pomoci zjištění závislosti srdeční frekvence a spotřebě kyslíku nepřímou kalorimetrií se dosáhlo relativně přesných výsledků. (Ekelund, U., Sjöström, M., Yngve, A., Nilsson, A., 2000)

Subjektivní kalibrace byla provedena v laboratoři po 30 minutovém odpočinku vleže, minimálně 3 hodiny po jídle. Spotřeba kyslíku a srdeční frekvence byly měřeny podle standartizovaných podmínek. Aktivita, podle které byl determinován individuální

vztah mezi spotřebou kyslíku a srdeční frekvencí, byly polohy: klidné ležení na zádech, sed, stoj; a z pohybových aktivit to byla chůze na běžícím pásu rychlostí 2,7 km/h při sklonu 10% a rychlostí 4 km/h při sklonu 12 %. Srdeční frekvence a spotřeba kyslíku byly měřeny ve 20 vteřinových intervalech po dobu 6 minut, přičemž započítávaná hodnota byla průměrem hodnot posledních tří minut. Následně byl vypočítán klidový energetický výdej (SEE) jako průměr hodnot výdeje při lehu, sedu a stoji. Poté byl určen bod zvratu (FLEX SF), od kterého je energetický výdej vypočítáván ze srdeční frekvence, dokud nedosáhne SF bodu zvratu, počítá se s konstantní hodnotou klidového výdeje SEE. Tento bod byl získán průměrem z nejvyšší SF při stoji a nejnižší SF při testování na běžeckém pásu. (Ekelund, U., Sjöström, M., Yngve, A., Nilsson, A., 2000)

Celkový energetický výdej byl získán pomocí rozdělení dne na několik úseků. Pro úseky, kdy $SF \leq FLEX\ SF$, byla přiřazena hodnota SEE. Pro úseky, kdy $SF \geq FLEX\ SF$, byla energetická potřeba vypočítána minutu po minutě podle regresivních křivek spotřeby kyslíku a SF. Výdej při spánku byl určen jako výdej bazálního metabolismu. Výstupem této metody je relativně přesný odhad celodenního energetického výdeje součtem výše zmíněných úseků. (Ekelund, U., Sjöström, M., Yngve, A., Nilsson, A., 2000)

Pro tuto metodu je zcela zásadní určení kalibrace mezi SF a spotřebou kyslíku. Výhoda této metody spočívá v relativně nízkých nákladech a velice přesných výsledcích, přičemž testovaný subjekt je omezován pouze sportestrem, který měří srdeční frekvenci. Nevýhodou je možná chyba vzniklá zvýšením SF psychickými vlivy.

3.2.2 Metoda měření celkového energetického výdeje a stupně fyzické aktivity ze srdeční frekvence

Možnost, jak určit energetický výdej v oblasti bez zdrojů tak, aby bylo vyšetření co nejlevnější, ale zároveň dostatečně přesné, zkoumali na univerzitě St John's National Academy of Health Sciences v Indii. V této studii si autoři dali za cíl zjistit, zda lze odhadovat denní energetický výdej a stupeň fyzické aktivity pouze z měření srdeční frekvence bez předchozí kalibrace SF se spotřebou kyslíku.

Studie vychází se vztahu $TEE = BMR \times PAL$, kde TEE znamená celkový denní výdej, BMR je bazální metabolismus a PAL je stupeň fyzické aktivity. Autoři studie opět provedli analýzu závislosti SF a poměru fyzické aktivity (PAR). Proběhlo měření, kdy testované osobě byla měřena SF při lehu a sedu. Dále pak při chůzi rychlostí 2,4 km/h a 4,8 km/h a běhu o 120 krocích za minutu, rychlost běhu byla měřena pomocí metronomu. K těmto aktivitám bylo přiřazeno PAR známé z literatury (FAO/WHO/UNU, 1985, 2004). Pro pozici vleže byla PAR přiřazena hodnota 1.0, pro sed 1.2, pro chůzi při rychlosti 2.4 km/h 2.0, 3.3 pro chůzi rychlostí 4.8 km/h a 8.0 pro běh o 120-ti krocích. Vztah mezi srdeční frekvencí a poměrem fyzické aktivity byl získán jednoduchou lineární regresí. Výsledná křivka měla zpočátku výrazně menší sklon než v pozdější fázi. Bod zlomu nastal při pomalé chůzi o rychlosti 2.4 km/h, proto byla křivka rozdělena na dvě části, přičemž byla provedena lineární regrese u lehu, sedu a pomalé chůzi, ta byla oddělená od lineární regrese náročnějších fyzických aktivit (pomalá chůze, rychlá chůze, běh). (Kurpad, AV., Raj, R., Maruthy, KN., Vaz, M, 2006)

Srdeční frekvence byla snímána subjektům po celý den minutu po minutě. Po sesbírání údajů za celý den byl vypočítán PAR za každou minutu podle srdeční frekvence. Ze všech PAR byl nakonec vypočítán průměr, který vyjadřoval celodenní stupeň fyzické aktivity PAL s n hodnotami poměrů fyzické aktivity, stanovený dle rovnice (6). Ten se vynásobil hodnotou bazálního metabolismu, vypočítán rovnicí pomocí věku, pohlaví, výšky váhy a byl získán celkový denní energetický výdej. (Kurpad, AV., Raj, R., Maruthy, KN., Vaz, M, 2006)

$$PAL = \frac{\sum_{i=1}^n PAR}{n}. \quad (6)$$

Tato metoda je velice levná, avšak výsledné hodnoty jsou značně nepřesné. Užití je možné u běžné populace, především v oblastech, kde jsou malé zdroje. V budoucnosti by se tato metoda mohla uplatnit při vyšetřování, kde je třeba na širší populaci odhadovat celkový energetický výdej a stupeň fyzické aktivity. Využití této metody ve sportovní laboratoři je zcela nevhodné.

3.2.3 Určení energetického výdeje pomocí komerčního software monitorů srdeční frekvence

Komerční systémy se skládají ze softwaru a hodinek, které slouží jako tréninkový přístroj. Vývojem těchto systémů se zabývají firmy Suunto, Polar nebo třeba Adidas. Princip funkce je u všech výrobců podobný. Demonstrativně bude vysvětlen na výrobku firmy Suunto. Ten byl vyvinut pro potřeby vrcholových sportovců. Pomocí softwaru (software vyvíjí například finská společnost Firstbeat) si sportovec nastaví, jak chce, aby probíhala jeho tréninková jednotka (jakou intenzitu, ...), to následně přehraje do hodinek Suunto, které sportovce informují, zda se drží plánu. Po tréninkové jednotce je opět možné přehrát záznamy do softwaru a detailně rozebrat tréninkovou jednotku. Jednou z mnoha funkcí je i odhad energetického výdeje. (Montgomery, P., Green, D., Etxebarria, N., Pyne, D., Saunders, P., Minihan, C., 2009)

Systém Suunto pracuje na 3 úrovních. Vstupy do 1. úrovně jsou základní osobní údaje (věk, váha, výška, pohlaví a stupeň fyzické aktivity), výstupem je pak maximální SF a VO_2 . Na druhé úrovni tvoří vstupy opět základní údaje plus maximální srdeční frekvence (získaná z testu na běžeckém pásu). Ve 3. úrovni přidáme ještě VO_2 vrchol spotřeby. Z těchto údajů Suunto předpovídá energetický výdej, avšak není jasné, jakým způsobem je EV vypočítán. (Montgomery, P., Green, D., Etxebarria, N., Pyne, D., Saunders, P., Minihan, C., 2009)

Autoři studie Validation of Heart Rate Monitor-Based Predictions of Oxygen Uptake and Energy Expenditure se zabývali přesností odhadu energetického výdeje tohoto systému. Výsledky ze systému Suunto srovnávali s výsledky z nepřímé kalorimetrie. Testované subjekty tvořilo 7 dobře trénovaných běžců, kteří podstoupili 2 druhy zátěže, 1. submaximální a 2. maximální. Po srovnání výsledků obdržených ze Suunto a nepřímé kalorimetrie bylo zjištěno, že energetický výdej se liší až o 13 %. (Montgomery, P., Green, D., Etxebarria, N., Pyne, D., Saunders, P., Minihan, C., 2009)

Pro potřebu přesného údaje o energetické potřebě organismu je tento systém nevhodný. Využití však najde pro sledování průběhu tréninkové jednotky v terénu.

3.3 Metody založené na jiném principu

3.3.1 Měření celkového denního energetického výdeje pomocí metody dvojité značené vody

Poměrně nová metoda, která k odhadu energetického výdeje využívá dvojité značenou vodu tzv. těžkou vodu. Ta má místo vodíku v molekule deuterium.

Na začátku je odebrán vzorek moči a slin, poté je orálně podána dávka těžké vody, ta je určena váhou testovaného subjektu. Testované osoby nemohou jíst další 4 hodiny po podání izotopů těžké vody. Vzorky slin se sbírají po 3-4 hodinách od podání kvůli měření rozředění izotopu deuteria v celkových tělesných tekutinách. Vzorek moči je odebrán 1. den (24h po podání dávky izotopu a pak poslední. Všechny vzorky jsou zapečetěny a při teplotě -5°C převezeny do specializované laboratoře, kde pomocí složitých chemických procesů zjišťují velikost energetického výdeje. (Ebine, N., Feng, J., Homma, M., Saitoh, S., Jones, P., 2000)

Velkou předností této metody je, že nijak neomezuje testované osoby, které mohou vést normální nijak omezený život. Tato metoda se též vyznačuje vysokou přesností měření (5% chyba). Je vhodná k použití v jakémkoliv prostředí, například u plavců, kde je měření pomocí nepřímé kalorimetrie nemožné. Její velkou nevýhodou je však nedostupnost a hlavně finanční náročnost vyšetření.

3.3.2 Dotazníková metoda zjišťování energetického výdeje

Tato metoda se běžně využívá ve výživovém poradenství pro běžnou populaci. Zpravidla se tato metoda zakládá na určování výdeje pomocí průměrných hodnot zvýšení metabolismu (% náležitého bazálního metabolismu) nebo průměrných hodnotách výdeje energie při různých činnostech. Dotazníkové metody jsou zaměřené spíše na dlouhodobější sledování energetického výdeje, řádově na dny až týdny.

Do dotazníku provádí pozorovatel zápisy o typu, době trvání a intenzitě prováděné činnosti. Kvůli standardizaci dotazníků byla sestavena škála různých činností s podobnou energetickou náročností, tato škála má 7 či 8 stupňů viz. tabulka 2, která je podkladem ke kódovacímu systému.

Tabulka 2: Systém kódování intenzit pohybových činností.

Zdroj: Selinger a kol., 1974

Aktivita	% BM
Kód 1 = spánek	110
Kód 2 = bdělý stav v leže, klid vsedě	120
Kód 3 = sezení nebo stání, drobné ruční práce	150
Kód 4 = mírná intenzita, pomalá chůze, domácí práce	300
Kód 5 = malá intenzita, rychlá chůze, společenský tanec	500
Kód 6 = střední intenzita, stolní tenis, odbíjená, gymnastika	800
Kód 7 = větší intenzita, mírný beh, cyklistika, pádlování	1000
Kód 8 = velká intenzita, košíková, kopaná, posilování	1200

V zápisu se uvádí čas změny činnosti, kód vyjadřující intenzitu a slovní popis činnosti.

Princip výpočtu energetického výdeje:

$$EV [kJ] = BMR_{min} \cdot [kJ / min] \cdot \text{průměrné zvýšení nál. BMR} \cdot \text{doba činnosti [min]} / 100$$

(7) (Selinger a kol., 1974)

Další možností je určit výdej pomocí tabulek s již změřenými hodnotami EV spiroergometrií. Tyto tabulky jsou k nahlédnutí v příloze č. 1. Tabulky z přílohy č. 1 budou použity k porovnání energetického výdeje s navrženou metodikou.

Metoda je vhodná pro užití na běžné populaci, je rychlá a jednoduchá. Každý člověk si sám může pomocí tohoto postupu sledovat energetický výdej, avšak použití u aktivních sportovců je nevhodné kvůli vysoké chybě způsobené adaptačními změnami sportovců na zátěž.

3.3.3 Měření energetického výdeje pomocí krokoměru

Krokoměr je elektronický přístroj sloužící k měření počtu kroků a vzdálenosti, jež testovaná osoba urazí za čas. Základní informace, které se do krokoměru zadávají, jsou váha, výška, věk a délka jednoho kroku. Přístroj se upěvňuje na tělo subjektu, například na opasek. Nevýhodou krokoměru je, že nedokáže měřit energetický výdej při chůzi v nerovném prostředí. Další nevýhodou je, že nedokáže měřit výdej při aktivitách, kde se člověk nepohybuje v bocích, jako je například cyklistika. Užití tedy nachází pouze při chůzi.

Jeho odhad je uskutečňován opět na základě výpočtu bazálního metabolismu a jeho následným navyšováním, podle vyhodnocení intenzity zátěže. Využití tohoto typu odhadu energetického výdeje může být u seniorů, avšak použití u sportovců je zcela vyloučeno. (Sedláčková, 2011)

4. Stanovení metodiky odhadu celodenního energetického výdeje jednotlivce

4.1 Komparace a výběr optimálních metod

Potřebu informací o svém energetickém výdeji mají různí lidé a pro každého je více či méně vhodná jiná metoda. Pro člověka se sedavým zaměstnáním a nízkou pohybovou aktivitou není nutné provádět vyšetření nepřímé kalorimetrie, k posouzení takového člověka stačí odhad pomocí dotazníkové metody uvedené v kapitole 3.3.2 využívající násobků bazálního metabolismu podle intenzity zátěže. Dotazníková metoda u normální populace vykazuje poměrně vysokou přesnost, vychází z měření nepřímou kalorimetrií prováděnou pro jednotlivé aktivity. Na principu dotazníkové metody dnes funguje většina nutričních poraden a software.

Dotazníková metoda se však stává nepřesnou v případě těžce fyzicky pracujících lidí a sportovců, u kterých v době tréninku dotazníkovou metodu nelze uplatnit kvůli vysoké chybě. U těchto lidí je na místě použití jiné metody. Tato skupina lidí představuje většinu zákazníků Laboratoře sportovní motoriky TUL.

Klientela Laboratoře sportovní motiky vyžaduje přesné informace, které pomohou zvýšit výkon nebo upravit hmotnost klienta na požadovanou úroveň, proto by vybraná metoda měla být co možná nejpřesnější. Důležitým faktorem je dostupnost a finanční náročnost vyšetření. Při výběru se musí brát zřetel na vybavení laboratoře a možnosti jeho rozšíření. Dalším faktorem ovlivňujícím rozhodnutí o vhodnosti metody je náročnost vyšetření. Metoda musí být taková, aby klienta nijak neomezovala v běžném životě, natož při sportovním výkonu.

Požadavky na přesnost splňují výše uvedené metody 3.3 a 3.5. Metoda dvojtě značené vody však není možné v podmínkách Laboratoře sportovní motoriky provádět. Její vysoká přesnost je vykoupena vysokou cenou vyšetření, materiální náročností a velkými požadavky na vybavení laboratoře. Proti tomu metoda měření srdeční frekvence

s individuální kalibrací vztahu mezi SF a energetickým výdejem pomocí nepřímé kalorimetrie vykazuje též vysokou přesnost. Laboratoř má dostatečné vybavení pro provedení nepřímé kalorimetrie a k dispozici jsou i sporttestery snímající srdeční frekvenci v průběhu celého dne. Cena tohoto vyšetření je ovšem vyšší v porovnání například s metodou měření SF a následným převodem na stupeň fyzické aktivity. Tato metoda však neposkytuje dostatečně přesné informace.

Pro každého člověka zajímavějšího se o energetický výdej je znalost jeho velikosti důležitou informací, proto je důležité dosahovat dostatečné přesnosti. Jako ideální možnost, jak z pohledu finanční náročnosti, tak náročnosti realizace, přesnosti a také pohodlí klienta, se jeví kombinace tří metod. Konkrétně se jedná o metodu dotazníkovou uvedenou v kapitole 3.3.2 a metodou měření SF minutu po minutě uvedenou v kapitole 3.2.1 a záznamu srdeční frekvence také z kapitoly 3.2.1. Díky této kombinaci lze dosáhnout přesných výsledků.

4.2 Navržená metodika

4.2.1 Informace o klientovi

Při vstupním vyšetření potřebuje laboratoř od klienta získat základní informace o jeho výšce, hmotnosti, věku a pohlaví. Po vstupním pohovoru je klient instruován o protokolu fyzických aktivit, kam musí přesně zaznamenávat činnosti, které vykonává v průběhu dne. Kromě fyzických aktivit musí též zaznamenávat veškeré potraviny, které zkonsumuje, tato práce je však zaměřena na energetický výdej, a proto se touto částí zabývat nebude.

4.2.2 Popis zvolené metodiky pro Laboratoř sportovní motoriky TUL

Základem metody je vytvoření protokolu o aktivitách v průběhu dne, kam se budou přesně zaznamenávat činnosti po hodinových blocích. Pro spánek budou použity násobky bazálního metabolismu, který bude vypočítán pomocí Harris-Benedictovy

rovnice uvedené v kapitole 2.1.1. Pro ostatní aktivity bude využito dat o spotřebě kyslíku v závislosti na srdeční frekvenci, které budou získány ze spiroergometrie. Testované subjekty měřeny v poloze vleže, vsedě a ve stoji. V každé poloze osoba setrvává 5 minut, údaj o srdeční frekvenci a objemu spotřebovaného kyslíku bude zaznamenán na konci páté minuty, kdy je SF a VO_2 stabilní a nejsou žádné náhlé výkyvy. Další částí vyšetření je měření při zátěži na běhacím pásu. Klient musí podstoupit vyšetření při chůzi a běhu. První test chůze bude probíhat při rychlosti 2,7 km/h při sklonu 10 %. Druhý test probíhá při rychlosti 4 km/h a sklonu 12 %. Posledním testem na běžícím pásu je běh se stupňovanou zátěží do maxima. Z naměřených hodnot bude stanovena pomocí regrese v programu MS Excel 2007 závislost objemu spotřebovaného kyslíku na srdeční frekvenci, aby bylo možné následně vypočítat spotřebu kyslíku pouze za pomoci srdeční frekvence.

Informace získané z popsanych testů budou využity při vyhodnocování protokolu o fyzické aktivitě klienta. Všem časovým úsekům v průběhu dne bude přiřazena hodnota energetického výdeje. Vše je graficky znázorněno na obrázku 4 a tabulce 4.

	0:00	2:00	4:00	6:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	0:00
Aktivita	Spánek			Cesta do školy		Studium			Trénink	Cesta domů	Sledování TV		
Intenzita	Velmi nízká			Nízká		Velmi nízká			Vysoká	Nízká	Velmi nízká		
Způsob odhadu EV	Přiřazení EV bazálního metabolismu			Sed, chůze, stoj = průměr hodnot z SLAB		Sed = hodnota z SLAB			EV podle SF	Sed, chůze, stoj = průměr hodnot z SLAB	Sed = hodnota z SLAB		

Obrázek 4: Grafický model vyhodnocování EV 1.

Zdroj: Vlastní

Časové úseky jsou hodnoceny podle následujících charakteristik:

A) Spánek

Úseku spánku bude přiřazena hodnota 110% bazálního metabolismu, který bude vypočten podle výše uvedeného vzorce.

B) Aktivita velmi nízké intenzity

Blokům s velmi nízkou intenzitou budou přiřazovány hodnoty, které budou nejbližší aktivitě vykonávané při měření v laboratoři. Jako nízkou intenzitu počítáme činnosti, při kterých SF nepřesáhne 120 tepů/min, konkrétně se jedná o leh, sed a stoj. Například pokud bude klient v bloku od 20:00 do 0:00 sedět u televize, bude mu na tuto dobu určen EV z měření v laboratoři v poloze sedu viz. obr. 3.

C) Aktivita nízké intenzity

Mezi aktivity nízké intenzity řadíme činnosti do 140 tepů/min. Do této sekce se řadí především chůze. EV přiřazovaný k těmto činnostem bude průměr z obou testů chůze provedených v laboratoři.

V případě potřeby lze jednotlivé systémy kombinovat, například pokud bude subjekt cestovat do zaměstnání, musí uvést, jakým způsobem bude cesta probíhat, například 30 minut městskou hromadnou dopravou a 30 minut pěšky, při přesunu tedy bude sedět, stát a chodit. Energetický výdej bude potom vypočítán pomocí spotřebovaného objemu kyslíku změřeného v laboratoři při sedu, stoji a chůzi, z těchto hodnot bude vytvořen průměr a ten vynásoben časem, po který byla aktivita vykonávána. Preferován je vážený průměr, pokud bude znám čas, jak dlouho kterou aktivitu subjekt vykonával. Pokud čas znám nebude, pak bude EV vypočten pomocí aritmetického průměru.

D) Aktivita střední až vysoké intenzity

Jiný způsob ohodnocování EV bude použit v tréninkové jednotce. Obecně se jedná o činnosti, při kterých je SF vyšší než 140 tepů/min. Pomocí stanovení závislosti objemu spotřebovaného kyslíku na srdeční frekvenci můžeme stanovit EV pouze na základě znalosti SF. Tato možnost bude využívána při aktivitách o vyšších intenzitách, kdy si na sebe klient upevní sporttester a srdeční frekvence mu bude zaznamenávána každou vteřinu. Po tréninku bude vytvořen graf spotřeby kyslíku odvozené od SF v závislosti na času. Z průběhu činnosti se vypočítá aritmetický průměr srdeční frekvence za celý trénink a ten pak bude vynásoben spotřebou kyslíku při dané SF. Získáme objem spotřebovaného kyslíku za minutu, tento objem vynásobíme počtem minut, po které se bude aktivita vykonávat. Nyní bude známa celková spotřeba kyslíku za celý trénink,

tuto hodnotu vynásobíme koeficientem 20,1, který představuje množství energie v kJ uvolněného při spotřebě 1 l kyslíku.

Metoda je určena především sportovcům trénujícím při aerobním způsobu energetického krytí, protože nelze z nepřímé kalorimetrie zjistit EV při anaerobní aktivitě, tento způsob energetického krytí však představuje jen malou část EV vytrvalostního sportovce, a proto je chyba přípustná. Pro zajištění nejmenší chyby byl zvolen průměr srdeční frekvence z celého trvání činnosti o vysoké intenzitě. Po dobu tréninku se pohybuje SF mezi 150 až 180 tepy/min, nebývají zde žádné odlehle hodnoty, a proto průměr poskytuje dostatečně přesné informace.

4.3 Experimentální ověření navržené metodiky

V této pilotní studii byla stanovena vhodná metodika odhadu celodenního energetického výdeje. Cílem této kapitoly je ověřit a porovnat daný postup na jednom testovacím subjektu s dotazníkovou metodou uvedenou v kapitole 3.3.2 z tabulek uvedených v Příloze 1.

4.3.1 Metody

Charakteristika souboru a způsob sběru dat

Testy byly zatím provedeny pouze na jedné osobě. Jedná se o muže ve věku 24 let provozující rekreačně sport jednu a půl hodiny pětkrát týdně. Váha subjektu je 78 kg a výška 178 cm. Měření bylo prováděno v dubnu 2012 v Laboratoři sportovní motoriky Technické univerzity v Liberci. Tenisový zápas, při kterém byla zaznamenávána srdeční frekvence, se hrál dne 20. 4. 2012 na tenisových kurtech s umělým povrchem v prostorách sportovního areálu na Harcově.

Přístrojové a vyhodnocovací vybavení

Použité přístroje:

- spirometr (Oxycon DeHQ)
- běžící pás (4/PI Cosmos Pulsar LT 4.0)
- sporttester (POLAR F7M6ray)

Použité SW vybavení pro analýze dat

- Oxycon Delta, 807527 – JLAB 4.67.0.20
 - vygenerování a transformace souboru DXT. do XSL. souboru
- MS Excel 2007
 - filtrace odlehlých hodnot
 - stanovení regresivní rovnice metodou nejmenších čtverců
 - grafické zpracování

Průběh měření

Před začátkem měření musí být provedena kalibrace přístrojů. Ještě před kalibrací musí být zapnuty všechny přístroje: spirometr (Oxycon DeHQ) a běžící pás (4/PI Cosmos Pulsar LT 4.0). Po zapnutí přístrojů probíhá kalibrace okolních podmínek, konkrétně teplota a vzdušná vlhkost v místnosti, poté následuje kalibrace objemová na spirometru a kalibrace plynů.

Testované osoby minimálně 3 hodiny před testy nesměly jíst, musely se dostavit zcela zdravý a plně zregenerovaný, tzn. žádná náročná fyzická aktivita 24 hodin před testy. Po základním vyšetření lékařem, zda je testovaná osoba způsobilá k testu, se změní

klidové EKG. Následovala příprava klienta na spirometrii. Nejdříve byl subjektu vysvětlen průběh vyšetření, poté mu byla nasazena maska s následnou důkladnou kontrolou správnosti nasazení. Dále mu pak byl připevněn sporttester (POLAR F7M6ray) pod prsa a osoba byla zajištěna proti pádu na běžícím pásu.

Před samotným začátkem testu proběhla opět kalibrace spirometru, především šlo o kontrolu komunikace přístrojů s počítačem. První měření probíhalo v poloze vleže, kdy testovaná osoba v klidu ležela 5 minut, v 5. minutě byla zaznamenána srdeční frekvence a spotřeba kyslíku. Stejný postup následoval u polohy vsedě a ve stoji. Poté byl běžící pás zdvižen na sklon 10 % a subjekt šel rychlostí 2,7 km/h opět po dobu 5 minut. V 5. minutě byla zaznamenána spotřeba kyslíku a srdeční frekvence. Následovalo zvýšení sklonu na 12 % a rychlost se zvýšila na 4 km/h, snímání SF a VO₂ proběhlo stejně viz. tabulka 3. Po těchto testech následoval test do maxima.

Test do maxima probíhal ve 2 fázích. První fázi submaximální tvoří 2 bloky po 4 minutách bez pauzy mezi bloky. Další fáze byla již do maxima, sklon běžícího pásu byl zvednut na 5 % a rychlost se zvyšovala každou minutu do doby, kdy již subjekt nemohl dále pokračovat v testu.

4.3.2 Výsledky hodnocení energetického výdeje

Výsledné hodnoty z výše popsaného testu, který probíhal na vybraném testovacím subjektu, jsou znázorněny v bodech A), B), C), jež jsou uvedeny níže.

A) Výpočet bazálního metabolismu subjektu

Výpočet je uskutečněn pomocí Harris-Benedictovy rovnice

$$\text{BMR [kcal]} = 66,5 + 13,8 \times \text{hmotnost} + 5,0 \times \text{výška} - 6,8 \times \text{věk}$$

$$\text{BMR [kcal]} = 66,5 + 13,8 \times 78 + 5,0 \times 179 - 6,8 \times 23 = \mathbf{1881,5 \text{ kcal}}$$

Za 24 hodin potřebuje testovaná osoba k udržení základních životních funkcí 1881,5 kcal.

B) Výsledky testů spiroergometrie subjektu

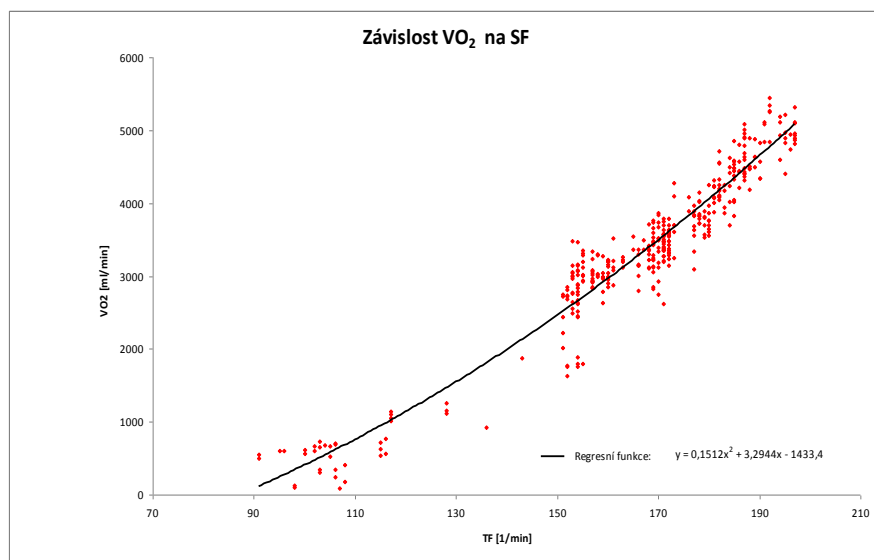
Tabulka 3: Výsledky spiroergometrie.

Zdroj: Vlastní

Aktivita	Srdeční frekvence [1/min]	Spotřeba kyslíku [ml/min]
Leh	78	364
Sed	79	332
Stoj	96	323
Chůze 2,7 km/h sklon 10 %	117	1046
Chůze 4 km/h sklon 12 %	127	2153

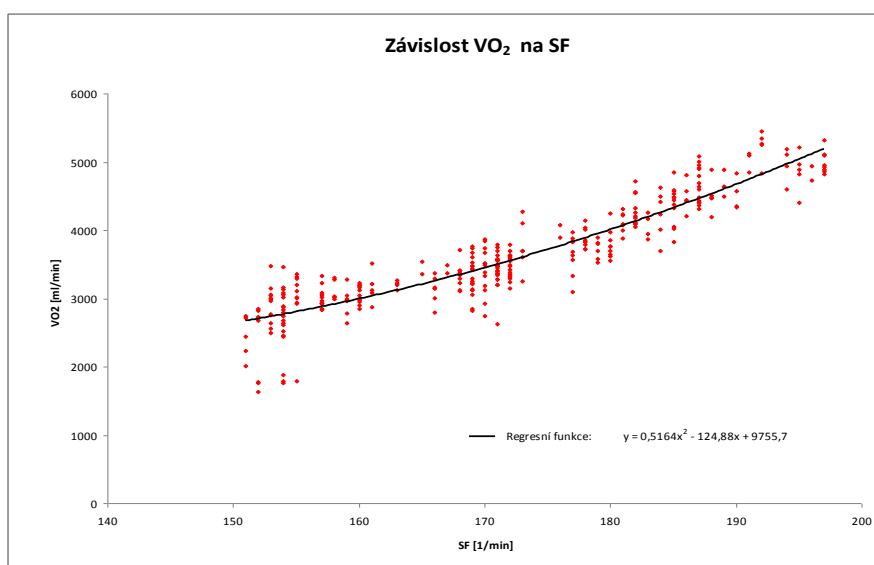
C) Stanovení vztahu spotřeby kyslíku v závislosti srdeční frekvenci u sledovaného subjektu

Z testu do maxima byly získány informace o závislosti spotřeby kyslíku na srdeční frekvenci viz. graf 1. Tato data byla exportována z laboratorního softwaru JLAB 4.67.0.20 do MS Excel 2007. Z důvodu chyby přístrojů vzniklo několik odlehlých hodnot, které by následný výpočet zkreslovaly, proto byly odfiltrovány. Následně byla provedena regresivní analýza za účelem získání vzorce pro výpočet spotřeby kyslíku ze srdeční frekvence.



Graf 1: Graf závislosti spotřeby kyslíku na srdeční frekvenci.
Zdroj: Vlastní

Z důvodu nedostatku dat v oblasti mezi 120 – 150 tepy za minutu byla provedena matematická regrese metodou nejmenších čtverců pouze z oblasti 150 až 190 tepů/min, kde bylo získáno velké množství dat viz. graf 2. Srdeční frekvence se v době zátěže nachází v intervalu od 150 do 190 tepů/min viz. graf 3., pro stanovení spotřeby kyslíku bude stačit regrese pouze z tohoto intervalu.



Graf 2: Graf závislosti spotřeby kyslíku a srdeční frekvenci v rozmezí 150 – 190 tepů/min.
Zdroj: Vlastní

Výsledná regresní rovnice závislosti spotřeby kyslíku na srdeční frekvenci uvedená v Grafu 2 má tvar

$$y = 0,5164x^2 - 124,88x + 9755,7 \quad (7)$$

Dosazením průměrné hodnoty srdeční frekvence za x se vypočítá spotřeba kyslíku [ml/min].

Výpočet energetického výdeje během hodinového zápasu v tenise

Ze záznamu ze sporttesteru byla získána data o srdeční frekvenci v průběhu celého tréninku, vteřinu po vteřině. Tepová frekvence se pohybovala většinu času mezi 150 až 180 tepy/min. Fluktuace hodnot byla nepatrná, a tak je možné provést aritmetický průměr. Ten byl dosazen do regresní rovnice (4), čímž byla zjištěna VO_2 [ml/min] při dané SF. Tato hodnota byla vynásobena dobou trvání tréninku, v této studii je délka trvání 60 minut. Pro zjištění energetického výdeje byla vynásobena celková spotřeba kyslíku koeficientem 20,1, který představuje hodnotu uvolněné energie při spotřebě 1 l kyslíku viz kap. 3.1.2.

Spotřeba kyslíku

$$SF = 157$$

$$VO_2 = 0,5164 SF^2 - 124,88 SF + 9755,7$$

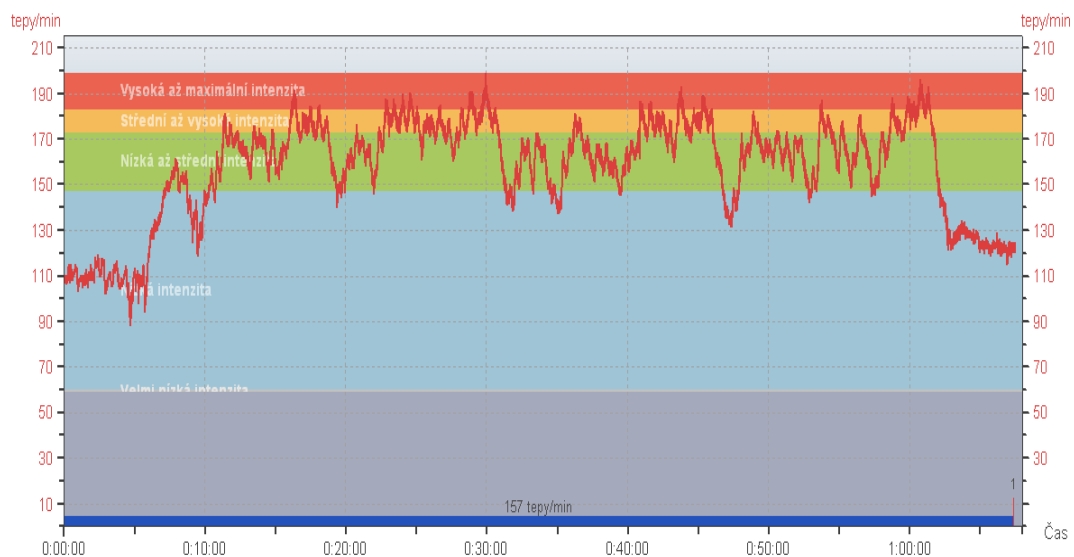
$$VO_2 = 2878,2836$$

$$2878,2836 \text{ [ml/min]} \cdot 60 \text{ [min]} = 172\,697 \text{ [ml/h]} / 1000 = 172,7 \text{ [l/h]}$$

Při tepové frekvenci 157 tepů/min činí spotřeba kyslíku za hodinu 172,7 l/h.

Výpočet EV podle rovnice (5) :

$$172,7 \cdot 20,1 = 3\,471,27 \text{ [kJ]} = \mathbf{830,4 \text{ [kcal]}}$$



Graf 3: Graf průběhu SF při hodinovém zápase v tenise.

Zdroj: Vlastní

Příklad odhadu denního energetického výdeje navrženou metodikou s porovnání s dotazníkovou metodou je uveden v tabulce 4, kde legenda k tabulce je následující:

- EV M1 - energetický výdej navrhovanou metodikou
- EV M2 - energetický výdej dotazníkovou metodou
- VN - velmi nízká intenzita
- N - nízká intenzita
- V - střední až vysoká intenzita

Váha testovaného subjektu je 78 kg, z nabídky možných hmotností v dotazníkové metody, je započítána hodnota EV pro 80 kg. Pro spánek byl použit stejně jako u navrhované metodiky 110% bazálního metabolismu.

Tabulka 4: Příklad denního rozvrhu.

Zdroj: Vlastní

Čas	Aktivita	Intenzita	Způsob ohodnocení EV	EVM1 [kcal]	EV M2 [kcal]
0:00 - 8:00	Spánek	VN	Násobek BM	627,2	627,2
8:00 – 9:00	Příprava snídaně a snídání	VN	Průměr hodnot EV ze stoje a sedu	94,5	114,8
9:00 – 12:00	Studium	VN	Hodnota EV ze sedu	287,4	344,4
12:00 – 13:00	Přesun do menzy a obědvání	VN	Průměr EV ze sedu a chůze (30 minut chůze a 30 sed)	326,5	332,2
13:00 – 15:00	Studium	VN	Hodnota EV ze sedu	191,6	229,6
15:00 – 15:30	Chůze ke sportovišti	N	Hodnota EV při chůzi	230,7	137,6
15:30 – 16:30	Trénink tenisu	V	Hodnota dle SF	830,4	562,2
16:30 – 17:00	Chůze domů	N	Hodnota EV při chůzi	230,7	137,6
17:00 – 17:30	Svačina	VN	Hodnota EV při stoji a sedu	47,2	57,4
17:30 – 19:00	Sledování TV	VN	Hodnota EV při sedu	143,7	172,2
19:00 – 20:00	Příprava večeře	VN	Hodnota EV při stoji	93,2	114,8
20:00 – 20:30	Večeření	VN	Hodnota EV při sedu	47,2	57,4
20:30 – 22:00	Procházka	N	Hodnota EV při chůzi	690,3	412,7
22:00 – 23:00	Sledování TV	VN	Hodnota EV při sedu	95,8	114,8
23:00 – 0:00	Večerní hygiena	VN	Hodnota EV při stoji	93,2	114,8
Celkem EV [kcal]				4029,6	3529,7

4.3.3 Diskuze

V současnosti je téměř v každém nutričním poradenství odhadován celodenní energetický výdej pouze pomocí dotazníkové metody. S ohledem na faktory ovlivňující energetický výdej nás zajímalo, jak velké rozdíly budou mezi hodnotou EV stanoveného ze spotřeby kyslíku a dotazníkové metody.

Z provedeného srovnání vyšlo, že dotazníková metoda mírně nadhodnocuje činnosti o nízké intenzitě, ale zase velice podhodnocuje aktivity o vysoké intenzitě. Rozdíly nás překvapily. Odhad energetického výdeje při hodinovém zápasu v tenisu podle hodnot z dotazníkové metody byl o 32 % nižší, než hodnoty získané spiroergometrií. Taková odchylka může být způsobena nepřesným výpočtem energetického výdeje z průměrné srdeční frekvence. Řešením by mohlo být vytvoření grafu průběhu srdeční frekvence za danou dobu a provést integraci. Tím bychom získali přesnější informace o spotřebě kyslíku, ale zas bychom museli řešit oblasti nad anaerobním prahem, nad nimž se již na energetické potřebě podílí dominantně anaerobní způsob energetického krytí. Velké rozdíly se objevují již u chůze, kde rozdíl mezi dotazníkovou metodou a spiroergometrií dosahuje až k 40 %. Tato chyba může být způsobená nedostatkem dat z měření z oblasti nižších tepových frekvencí. Možnost, jak tento nedostatek napravit je zkusit stanovit regresní rovnici i pro aktivity o nízké intenzitě při tepových frekvencích v intervalu od 100 až 150 tepů/min. Oproti tomu dotazníková metoda nadhodnocuje činnosti o nízké intenzitě, avšak pouze v řádech jednotek procent. Při porovnávání celodenního energetického výdeje byl zjištěn rozdíl 500 kcal. To je již významné množství, jež dokáže silně ovlivnit všechny navazující úvahy o energetickém příjmu a výdeji.

Tyto výrazné rozdíly mohou způsobovat fyziologické faktory ovlivňující energetickou potřebu testovaného subjektu. Na základě dosažených výsledků se domníváme, že pro přesné stanovení energetického výdeje je nutné stanovení závislosti mezi SF a VO_2 . Avšak i zde může vznikat chyba, protože v práci jsme počítali, že při spotřebě 1 l kyslíku se uvolní 20,1 kJ energie. Tento ekvivalent je pouze průměrnou hodnotou, která platí pro vyváženou stravu jak je uvedeno v kap. 3.1.2. Do protokolu o fyzických aktivitách se však uvádí i všeskerá strava, kterou subjekt zkonsumeje, proto je možné

vypočítat přesné zastoupení sacharidů, bílkovin a tuků v potravě a je tedy možné vypočítat přesný koeficient uvolnění energie při spotřebě 1 l kyslíku. V této pilotní studii byl testován pouze jeden subjekt, proto nelze dělat jakékoliv všeobecné závěry a je nutný další výzkum.

Která metoda je přesnější je těžké říci. Obecně se předpokládá, že EV stanovený podle spotřeby kyslíku bude přesnou metodou, avšak i zde mohou vznikat chyby měření způsobené chybami přístrojů, nebo například emočním stresem subjektu při testech, který může zvyšovat srdeční frekvenci. Pokud bychom chtěli s naprostou jistotou potvrdit přesnost jedné či druhé metody, musely bychom porovnat výsledky s přímou kalorimetrií, která je nejpřesnější avšak zároveň velice nákladné vyšetření.

U běžné populace jsou výsledky získané dotazníkovou metodou relativně dostačující, avšak u lidí sportujících, kteří tvrdě trenují i několikrát denně, se může celodenní výdej lišit o tisíce kilokalorií.

4.3.4 Časová a finanční náročnost vyšetření

Zbývá ještě ohodnotit ekonomickou stránku metodiky. Možnost zjištění denního energetického výdeje člověka by nemělo být nabízené jako samostatná služba, nýbrž jako přidaná hodnota k již stávajícím balíčkům v rámci kondičního a výživového poradenství, které laboratoř nabízí. Konkrétně se jedná o balíčky:

- Analýza pohybového a stravovacího režimu včetně základní antropometrie
- Individuální kondiční plán na 3 měsíce s průběžnou kontrolou
- Individuální stravovací plán na 3 měsíce s průběžnou kontrolou

Možnost detailního monitoringu energetického výdeje by měla sloužit jako přidaná hodnota, kterou Laboratoř sportovní motoriky TUL zkvalitní své služby, a tím se odliší od konkurence.

Časová náročnost vyšetření je přibližně jedna hodina, avšak vyšetření spiroergometrií je již zahrnuto v balíčcích, ke kterým by bylo stanovení energetického výdeje přidáno, proto není nutné zvyšovat jejich cenu.

K analýze dat z protokolu o vykonávaných činnostech a sporttesteru je třeba jeden kvalifikovaný odborník. Dle našich zkušeností doba potřebná na zpracování dat činí 2 hodiny. Cena času kvalifikovaného pracovníka se odhaduje na 500Kč/h. Avšak navýšení ceny balíčku o 1000 Kč nejsou zákazníci schopni akceptovat. Řešením se jeví automatizace procesu. Vytvoření softwaru určujícím energetický výdej ze zadávaných vstupních hodnot by znamenalo značnou úsporu času a vyhodnocování protokolu by bylo možné vykonat v řádech jednotek minut.

5. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi stanovení energetického výdeje. Hlavním cílem práce bylo navržení vhodného způsobu zjišťování energetického výdeje organismu pro potřeby Laboratoře sportovní motoriky Technické univerzity v Liberci.

Díky shromážděným teoretickým poznatkům jsme roztřídili procesy ovlivňující energetický výdej organismu na několik složek. Největší část zaujímá bazální metabolismus. Stanovili jsme možnosti, jak jej vypočítat a faktory, jež ho ovlivňují. Další významnou složku tvoří energie potřebná na svalovou práci, její velikost je závislá na aktivitě člověka, u sportovců může tvořit většinovou část denního energetického výdeje. Poslední složku tvoří ostatní procesy jako je například termický efekt potravy, ty se však podílejí na celkovém energetickém výdeji pouze jednotkami procent.

Po shromáždění informací o funkci metabolismu jsme se zabývali metodami stanovování energetického výdeje. Jednotlivé metody jsme roztřídili do skupin podle nejvýznamnějších faktorů měření. Nejvíce pozornosti bylo věnováno metodám založených na spiroergometrii a na sledování srdeční frekvence. Po analýze možností jsme dospěli k názoru, že optimální metodika z pohledu přesnosti, finanční a časové náročnosti bude kombinace několika metod. Celkový denní energetický výdej byl rozřazen do několika tříd podle stupně intenzit. Konkrétně na třídu spánku, kde byl k odhadu energetického výdeje použit násobek vypočteného bazálního metabolismu a třídu velmi nízké a nízké intenzity. Pro určení energetické potřeby byly použita data z měření spiroergometrie v klidových polohách. Třídu o střední až vysoké intenzitě jsme na základě studia nových metod vyvíjených v zahraničí ohodnotili podle záznamu srdeční frekvence, přičemž byla stanovena regresní analýzou závislost spotřeby kyslíku na srdeční frekvenci, proto jsme schopni pro jakoukoliv hodnotu srdeční frekvence vypočítat spotřebu kyslíku, díky které lze snadno dopočítat energetický výdej.

Navržená metodika byla pilotně otestována na jednom testovacím subjektu a výsledky byly porovnány s výsledky dosažených dotazníkovou metodou. Zjistili jsme velké

rozdily ve stanovení celodenního energetického výdeje. Celkový rozdíl byl přibližně 14 %, přičemž dotazníková metoda podhodnocovala celkový denní výdej. Největší podíl na tom má silné podhodnocování výdeje energie u pohybových aktivit, kde rozdíl činil 30 – 40 % oproti nové metodice. Pro sportující populaci je proto dotazníková metoda nevhodným nástrojem zjišťování energetického výdeje. Nová metodika zaručuje dostatečnou přesnost a zároveň je finančně dostupná.

Pokud bude proveden další výzkum a výsledky navržené metodiky budou potvrzeny, může najít uplatnění v Laboratoři sportovní motoriky TUL v rámci výživového a kondičního poradenství.

Seznam použité literatury

- [1] ANABELL.CZ. Bazální metabolismus, termický účinek potravy a termický účinek pohybové aktivity. *Anabell.cz* [online]. 16. 06. 2002 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.anabell.cz/index.php/clanky-a-vase-pribehy/vyziva/20-co-tlo-potebuje/269-bazalni-metabolismus-termicky-unek-potravy-a-termicky-unek-pohybove-aktivity>
- [2] DOVALIL, J. 2009. *Výkon a trénink ve sportu*. Praha : Olympie, 331 s. ISBN 9788073761391.
- [3] DYLEVSKÝ, I. 1997. *Pohybový systém a zátěž*. Praha : Grada Publishing, 260 s. ISBN 8071692581.
- [4] EBINE, N., FENG, J., HOMMA, M., SAITOH, S., JONES, P.: *Total energy expenditure of elite synchronized swimmers measured by the doubly labeled water method*, Eur J Appl Physiol 2000, Vol. 83, pp. 1 – 6.
- [5] EKELUND, U., SJÖSTRÖM, M., YNGVE, A., NILSSON, A.: *Total daily energy expenditure and pattern of physical activity measured by minute-by-minute heart rate monitoring in 14 – 15 year old Swedish adolescents*, European Journal of Clinical Nutrition 2000, Vol. 54, pp. 195 – 202.
- [6] HAVLÍČKOVÁ, L. 2004. *Fyziologie tělesné zátěže 1 – Obecná část*. Praha : Karolinum, 180 s. ISBN 9788073761301.
- [7] CHROMEČEK, J.: *Klidový metabolismus*. [Bakalářská práce]. Brno : Masarykova univerzita – fakulta sportovních studií. 2011.
- [8] JANČÍK, J., ZÁVODNÁ, E., NOVOTNÁ, M.: *Fyziologie tělesné zátěže – vybrané kapitoly: Metabolismus*. 2006, [cit. 25.3.2012]. Dostupné na internetu: <http://is.muni.cz/elportal/estud/fsps/js07/fyzio/texty/ch02.html>
- [9] KOHLIKOVÁ, E. 2000. *Vybranná témata z fyziologie člověka*. Praha : Karolinum, 83 s. ISBN 8024600730.
- [10] KURPAD, AV., RAJ, R., MARUTHY, KN., VAZ, M.: *A simple method of measuring total daily energy expenditure and physical activity level from the heart rate in adult men*, European Journal of Clinical Nutrition 2006, Vol. 60, pp. 32 – 40.
- [11] MATERASE, L.: *Indirect calorimetry : Technical aspects*, Journal of the American

- Dietetic Association 1997, Vol. 97, pp. 154 – 160.
- [12] RONNIE.CZ. Metabolismus (II.). *Ronnie.cz* [online]. 21. 09. 2009 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://medicina.ronnie.cz/c-5936-metabolismus-ii.html>
- [13] MONTGOMERY, P., GREEN, D., ETXEBARRIA, N., PYNE, D., SAUDERS, P., MINIHAN, C.,: *Validation of Heart Rate Monitor – Based Predictions of Oxygen Uptake and Energy Expenditure*, Journal of Strength and Conditioning Research 2009, Vol. 23, pp. 1489 – 1495.
- [14] MOUREK, J. 2005. *Fyziologie: Učebnice pro studenty zdravotnických oborů*. Praha : Grada publishing, a.s., 204 s. ISBN 8024711907.
- [15] ZUNIV.NET. New Human Physiology. *Zuniv.net* [online]. 1. 10. 2007 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.zuniv.net/physiology/book/chapter20.html>
- [16] NOVOTNÁ, M., NOVOTNÝ, J. 2007. *Fyzilogická podstata rychlostního a vytrvalostního běžeckého výkonu*. Brno : Masarykova univerzita, 57 s. ISBN 9788021045064.
- [17] PLACHETA, Z., SIEGELOVÁ, J., ŠTEJFA, M. 1999. *Zátěžová diagnostika v ambulatní a klinické praxi*. Praha : Grada, 268 s. ISBN 8071692719.
- [18] RYDLO, M. 1995. *Fyziologie a patofyziologie tělesné zátěže*. Ostrava : Ostravská univerzita, 195 s. ISBN 8070420936.
- [19] SEDLÁČKOVÁ, E.: *Porovnání klidového metabolismu u sportující a nesportující populace*. [Diplomová práce]. Brno : Masarykova univerzita – fakulta sportovních studií. 2011.
- [20] TROJAN, S., LANGMAIER, M. 2003. *Lékařská fyziologie*. Praha : Grada publishing, a.s., 772 s. ISBN 8024705125.
- [21] ZDRAVOTNICTVI.STUDENTSKE.CZ. *Zdravotnictví - Studium nejen pro studenty*. *Zdravotnictvi.studentske.cz* [online]. 15. 03. 2005 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://zdravotnictvi.studentske.cz/2010_12_01_archive.html

Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1 : Tabulka energetického výdeje při pohybu.....	I
--	---

Příloha 1 : Tabulka energetického výdeje při pohybu

Zdroj: Stob.cz

Energetický výdej v kJ/hod						
Hmotnost	60 kg	70 kg	80 kg	90 kg	100 kg	110 kg
Činnost						
Sezení , TV, telefonování, čtení	360	420	480	540	600	660
Chůze po rovině - 4 km/hod	860	1000	1150	1290	1440	1580
- 5 km/hod	1040	1210	1390	1560	1740	1910
- 6 km/hod	1360	1590	1820	2050	2280	2500
Chůze v terénu	1510	1760	2010	2260	2520	2770
Chůze v horách	1760	2050	2350	2640	2940	3230
Jogging	1760	2050	2350	2640	2940	3230
Běh 9 km/hod	2010	2350	2680	3020	3360	3690
Jízda na rotopedu- lehká (50 W)	750	880	1000	1130	1260	1380
- těžká (100 W)	1360	1590	1820	2050	2280	2500
Jízda na kole 16 km/hod	1510	1760	2010	2260	2520	2770
Kruhový trénink posilovna	1760	2050	2350	2640	2940	3230
Aerobik intenzivní	2010	2350	2680	3020	3360	3690
Aerobik lehčí (obdobné cvičení STOBu)	1040	1210	1390	1560	1740	1910
Domácí cvičení, cvičení zad	1040	1210	1390	1560	1740	1910
Strečink, jóga	610	710	810	910	1020	1120

Tanec aerobní(středně těžký)	1510	1760	2010	2260	2520	2770
Tanec společenský(rychlý)	1360	1590	1820	2050	2280	2500
Tanec společenský(pomalý)	750	880	1000	1130	1260	1380
Hra na běžné hudební nástroje	630	730	840	940	1050	1150
Sporty obecně (nikoliv závodní)						
Volejbal	750	880	1000	1130	1260	1380
Ping-pong	1000	1170	1340	1510	1680	1840
Badminton	1000	1170	1340	1510	1680	1840
Sjezdové lyžování lehké	1260	1470	1680	1890	2100	2310
Sjezdové lyžování středně těžké	1510	1760	2010	2260	2520	2770
Turistika na běžkách	1620	1890	2160	2430	2700	2970
Košíková	1360	1590	1820	2050	2280	2500
Akvaaerobik	1010	1180	1340	1510	1680	1850
Plavání obecně	1360	1590	1820	2050	2280	2500
Tenis	1760	2050	2350	2640	2940	3230
Bruslení	1760	2050	2350	2640	2940	3230
Domácí aktivity						
Běžný úklid - luxování, kuchyňské práce, žehlení, vytírání (do této kategorie patří většina běžných prací)	630	730	840	940	1050	1150
Velký úklid (klepání koberců, mytí oken)	1000	1170	1340	1510	1680	1840
Žehlení	570	670	760	860	960	1050

Stěhování nábytku	1510	1760	2010	2260	2520	2770
Drhnutí podlahy, drátkování, odklizení sněhu 5,5	1360	1590	1820	2050	2280	2500
Péče o dítě (zvedání, koupání, oblékání)	750	880	1000	1130	1260	1380
Údržbářské práce (malování, opravy, mytí auta)	1110	1300	1480	1670	1860	2040
Zahradnické práce						
Zalévání (hadicí)	430	500	570	640	720	790
Stříhání stromů, keřů	880	1020	1170	1320	1470	1610
Hrabání	1080	1260	1440	1620	1800	1980
Sekání trávy – ruční	1360	1590	1820	2050	2280	2500
Sekání trávy - sekačkou (bez pohonu)	1110	1300	1480	1670	1860	2040
Zahradničení obecně	1000	1170	1340	1510	1680	1840